

[PE04]

**VULCANISMO RELACIONADO CON LAS FORMACIONES LA BOCA Y MINAS VIEJAS EN LOS ALREDEDORES DE GALEANA, N.L. Y SU VÍNCULO CON LA MINERALIZACIÓN DE BARITA**

**Esther M. Cruz Gámez<sup>1</sup>, Fernando Velasco Tapia<sup>1</sup>, Pedro Rodríguez Saavedra<sup>1</sup>, Augusto A. Rodríguez<sup>2</sup>, Uwe Jenchen<sup>1</sup>, Roberto O. Rábago Tavares<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Facultad Ciencias de la Tierra, UANL, Carretera a Cerro Prieto Km 8, Ex. Hacienda de Guadalupe, 67700 Linares N.L.*

*E-mail: [esther.cruzgm@uanl.edu.mx](mailto:esther.cruzgm@uanl.edu.mx)*

<sup>2</sup>*Instituto de Geofísica, UNAM, Ciudad Universitaria, 04150 México, D.F.*

<sup>3</sup>*Baramin, Vía a Tampico Km 369, 67700 Linares, N.L.*

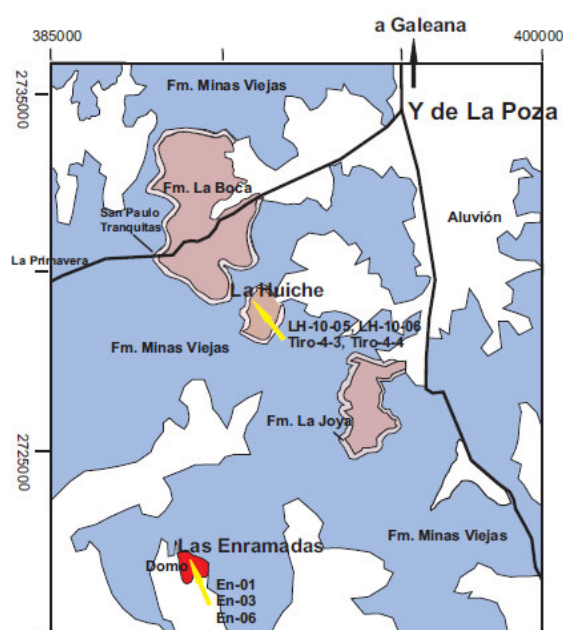
**INTRODUCCIÓN**

Un vulcanismo que cubre el intervalo Triásico Superior a Jurásico Superior (Figuras 1 y 2) se ha reportado en las localidades Valle de Huizachal - Cañón La Boca, Tamps., así como en Aramberri - San Paulo Tranquitas, N.L., aunque no existe consenso en cuanto a su proceso de origen y su marco tectónico. Salvador (1987) lo vinculó a un ambiente de *ríft*. Barboza-Gudiño *et al.* (1998) señalaron que las rocas volcánicas triásicas y jurásicas del extremo oriental de México están asociadas a la fragmentación de Pangea, o a una cuenca de tras-arco. Posteriormente, Barboza-Gudiño *et al.* (2008) lo atribuyeron sólo a un margen activo del suroeste de Norteamérica. Fastovsky *et al.* (2005) consideraron que el vulcanismo sin-sedimentario del Cañón de Huizachal (Cd. Victoria, Tamps; Figura 1) está relacionado con un arco activo del Jurásico Temprano. En esta misma zona, Rubio- Cisnero *et al.* (2011) indicaron que los lechos rojos representan flujos de sedimentos afectados por vulcanismo sin-sedimentario, vinculado a un régimen de arco durante el Jurásico Temprano. García-Obregón (2008) indicó la afinidad de las riolitas Huizachal con un ambiente de arco volcánico continental.

En la zona de Galeana, N.L., que se ubica en la provincia geológica de Sierra Madre Oriental, se reporta un vulcanismo contemporáneo, asociado a los denominados lechos rojos de la Fm. La Boca y las evaporitas de la Fm. Minas Viejas. Sin embargo, este se presenta en pequeños afloramientos en los alrededores de las localidades La Huiche y Las Enramadas que no han sido estudiados a profundidad (Figura 2). Por otra parte, Tritlla *et al.* (2006) y González-Sánchez (2007) señalaron que, la mineralización de barita de esta región es similar a la del resto del NE de México y corresponde al tipo MVT (*Mississippi Valle Type*). Leach y Sangster (1993) la describieron como “una familia de minerales epigenéticos precipitados a partir de densas salmueras de cuenca, en rangos de temperatura entre 75 a 200°C, depositados en secuencias carbonatadas de plataforma y que carecen de afinidades genéticas relacionadas a actividad ígnea”. Kroeger y Stinnesbeck (2003) relacionaron las rocas volcánicas presentes del Miembro La Primavera (Jurásico Superior) de la Fm. Minas Viejas con la mineralización de barita, asumiéndolas como la fuente de Ba. Considerando este contexto, en el presente estudio se reporta la caracterización de este vulcanismo a partir del análisis de afloramiento, petrográfico y geoquímico de las rocas, con la finalidad de esclarecer su ambiente tectónico y relación con la mineralización antes mencionada.



**Figura 1.** Localización de las rocas estudiadas (alrededores de Galeana, N.L.) y lugares mencionados en el texto, donde afloran los volcánicos vinculados a los lechos rojos y evaporitas. La zona sombreada destaca el área donde existe mineralización de barita.



**Figura 2.** Mapa geológico de los sitios muestreados para análisis químico. Realizado y modificado a partir de la Carta Geológico-Minera San José de Raíces a escala 1:50 000 (G14-C66), Nuevo León, SGM.

### MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En la región de Galeana, N.L. ocurren rocas asociadas al episodio de sedimentación continental discordante del NE de México entre el Triásico Superior-Jurásico Medio. La parte inferior de esta secuencia, denominada como Fm. La Boca, se compone de materiales sedimentarios, volcanoclásticos y volcánicos (diques y sills). Su parte superior está constituida por conglomerados basales, areniscas, limolitas, volcanoclásticos y lavas. La Fm. La Joya, que sobreyace a la unidad anterior, consiste de rocas siliciclásticas, con intercalaciones finas de caliza en su parte superior. Para esta unidad no se ha reportado vulcanismo. La Fm. Minas Viejas sobreyace a las anteriores y está integrada por calizas y evaporitas. Según Kroeger y Stinnesbeck (2003), en el Miembro La Primavera de esta formación (parte superior) aparecen rocas volcánicas alcalinas y carbonatitas. Se ha señalado que las litologías de La Joya y Minas Viejas representan la primera evidencia de incursión marina en el NE de México.

Por otro lado, en reportes del Servicio Geológico Mexicano se incluye un gran número de vetas de barita en las regiones de Galeana, Iturbide y Aramberri relacionadas con los lechos rojos (Fm. La Boca) y carbonatos (formaciones Novillo y Zuloaga). Las mismas alcanzan espesores desde escasos centímetros hasta los 19 m y, poseen echados cercanos a la horizontal y desde 45° hasta la vertical. En este sentido, Kesler *et al.* (1998) señalaron el carácter epigenético de la barita vinculada a la orogenia Laramide y el papel de los lechos rojos como portadores de Ba.

### VOLCÁNICOS EN LOS LECHOS ROJOS Y EVAPORITAS

En la zona La Huiche, tanto en el interior de la mina del mismo nombre como en superficie, se distinguen cuerpos volcánicos: (a) en forma de diques y sills de 3-7 m de espesor que muestran un color gris verdoso. Se caracterizan por una textura porfírica y contienen plagioclasa y hornblenda en una matriz de microlitos de esta misma composición. Presentan una composición andesítica y se vinculan al corte de la Fm. La Boca donde predominan areniscas; (b) en forma de pequeños domos (~10 m de diámetro en Tiro 4), los cuales se clasifican como riodacitas de color gris claro. Presentan un aspecto porfírico y poseen sólo fenocristales de plagioclasa en

una matriz de este mismo mineral, cuarzo criptocristalino y vidrio. Los domos cortan en superficie a las evaporitas de la Fm. Minas Viejas.

En la localidad Las Enramadas, el afloramiento volcánico tiene un aspecto dómico (~350 m de diámetro), donde predomina una estructura fluidal, en partes pseudoestratificada y brechada. Las rocas tienen diferentes tonalidades que varían desde rosado al gris, las cuales corresponden a traquitas ligeramente porfiríticas, integradas por microlitos de plagioclasa orientados y vidrio volcánico. En ellas abundan además sulfuros euhedrales (0.5 mm) oxidados y escasos cristales de circón. Estas rocas cortan los carbonatos de la Fm. Minas Viejas.

### **MUESTREO, ANÁLISIS QUÍMICO Y BASE DE DATOS**

En el presente estudio se efectuó el muestreo de rocas volcánicas en 14 sitios de La Huiche, sus alrededores (área Tiro 4) y en Las Enramadas (Figura 2). Se efectuó el análisis petrográfico y a 7 de ellas se les realizó análisis químico de elementos mayores (ICP-AES) y traza (ICP-MS) en el laboratorio comercial ACME (Canadá). Se preparó una base de datos con esta información, la cual fue complementada con 35 muestras adicionales, para su comparación con el vulcanismo estudiado. Esta información fue obtenida de los trabajos reportados por: Fastovsky *et al.* (2005) del Valle de Huizachal (26 muestras), quienes las agruparon en VES-A, VES-B, VES-D (parte inferior de la Fm. La Boca) y SS (parte superior de dicha formación) y Rubio-Cisneros *et al.* (2011) correspondientes al Valle de Huizachal, Cañón La Boca, Aramberri y San Paulo Tranquitas (9 muestras).

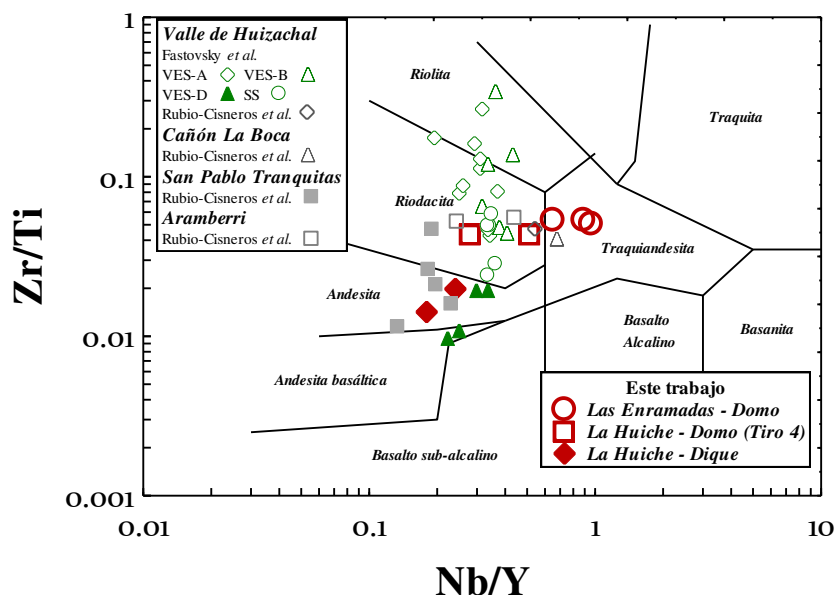
### **CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS**

La aplicación del diagrama Zr/Ti-Nb/Y (Figura 3; Winchester y Floyd, 1977) confirmó un carácter intermedio (La Huiche) a ácido (Tiro 4 y Las Enramadas) para las litologías, con una relación de  $Zr/Ti > 0.01$ . Al agrupamiento intermedio se asocian las rocas de San Paulo Tranquitas y las nombradas por Fastovsky *et al.* (2005) como VES-D en el Valle de Huizachal. El grupo ácido se asocia al resto de las muestras contempladas en el trabajo: VES-A, VES-B, SS (Valle de Huizachal), Cañón La Boca y Aramberri.

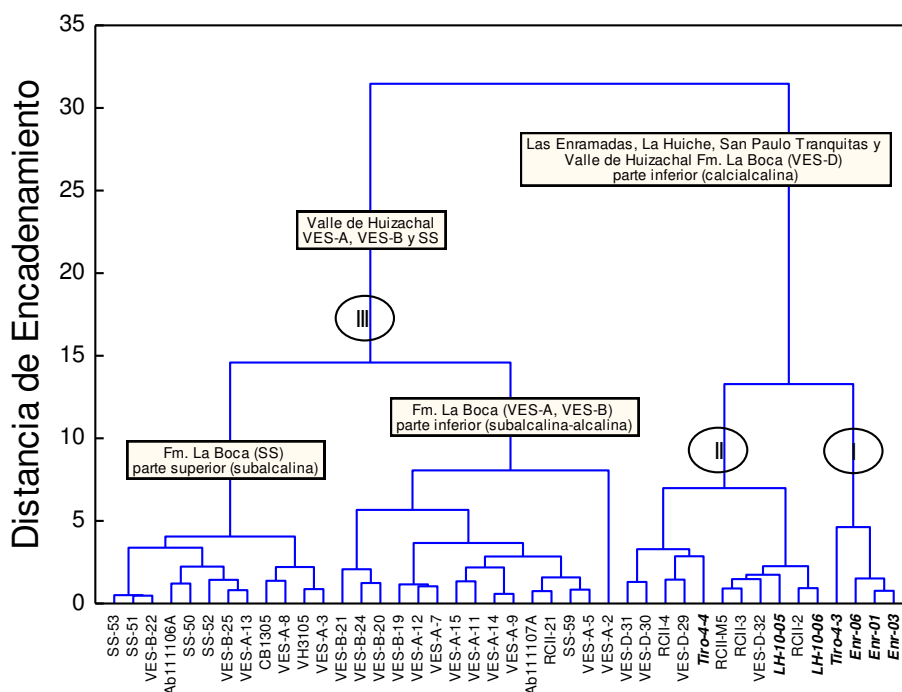
Se efectuó un análisis jerárquico de conglomerado (Bratchell, 1989), con la finalidad de identificar estadísticamente grupos de rocas con una similitud geoquímica. El análisis se llevó a cabo considerando el logaritmo de relaciones de  $\%Al_2O_3$  y de elementos traza (La, Ce, Y, Zr y Nb, en ppm) a  $\%TiO_2$ . Este análisis (Figura 4) permitió efectuar la distribución de la base de datos en tres grupos geoquímicos, cuyas características fueron complementadas por los patrones normalizados multi-elementos y de lantánidos (Figuras 5 y 6), así como la ubicación de las mismas en el diagrama de Zr/Ti-Nb/Y.

*Grupo I: Las Enramadas-Tiro 4.* Los patrones multi-elementos se caracterizan por variaciones en elementos móviles, con decrecimiento significativo de  $K_2O$  y Rb y un descenso en abundancia con el incremento de la compatibilidad. Cabe aclarar que la muestra Tiro 4-3 se caracteriza por una alta concentración de Ba, posiblemente asociada a contaminación de barita (Figura 5A). El patrón de lantánidos se caracteriza por un enriquecimiento en ligeros (con La en una composición entre 13-45× relativa a condrita), y un arreglo cuasi-horizontal para medianos y pesados con una concentración alrededor de ~7× en relación a condrita. La muestra Tiro-4-3 tiene un patrón empobrecido en REE y con una morfología diferente al resto del grupo (Figura 6A). En el diagrama Zr/Ti-Nb/Y (Figura 5), las rocas de este grupo tienen relaciones casi constantes de Zr/Ti (alrededor de 0.05).

*Grupo II: La Huiche-Valle de Huizachal (VES-D-calcalcalina)-San Paulo Tranquitas.* Los patrones multi-elementos se caracterizan por enriquecimiento en elementos móviles (Sr,  $K_2O$ , Rb y Ba), una anomalía negativa de Nb-Ta y un descenso en concentración con el incremento de compatibilidad. Este patrón se asemeja al correspondiente a observado en San Paulo Tranquitas (Figuras 5A y B). Los patrones de lantánidos muestran un enriquecimiento en ligeros (con La en una composición 50-150× relativo a condrita) y un arreglo cuasi-horizontal para medianos y pesados con Lu a un nivel de ~10× relativo a condrita. En el diagrama Zr/Ti-Nb/Y (Figura 4), las rocas de este grupo tienen relaciones  $Zr/Ti = 0.01-0.03$  y corresponden a andesitas. A este grupo se asocia también la muestra Tiro-4-4 (Figura 4), la cual manifiesta rasgos geoquímicos transicionales con el *Grupo I* (Figuras 5A y 6B).



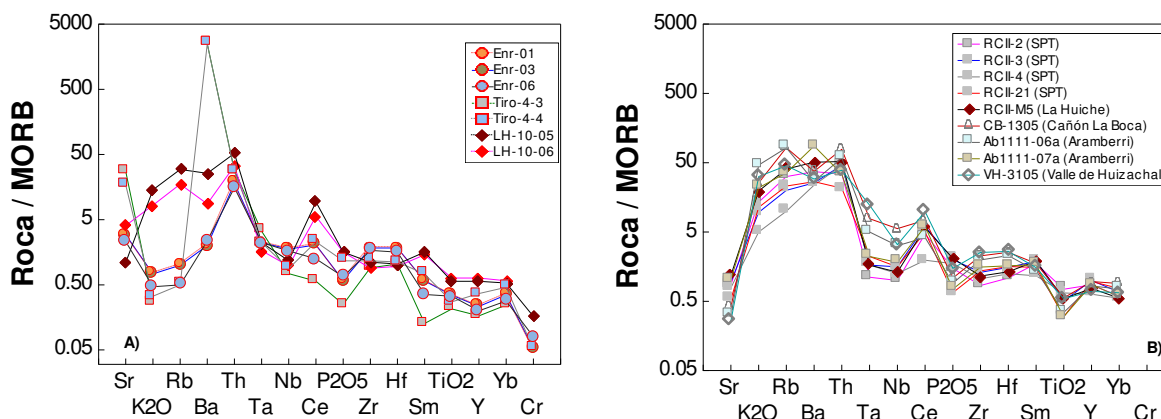
**Figura 3.** Diagrama Zr/Ti-Nb/Y (Winchester y Floyd, 1977; Pearce, 1996) para las rocas de la región de Galeana (Las Enramadas, La Huiche) y otros sitios con vulcanismo vinculado a los lechos rojos y evaporitas (Valle de Huizachal, Cañón La Boca, Aramberri y San Paulo Tranquitas).



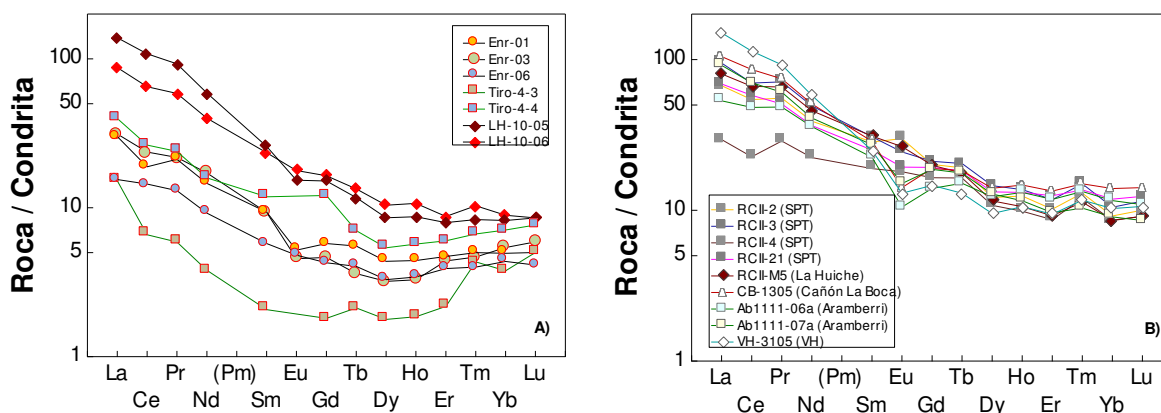
**Figura 4.** Dendrograma del análisis jerárquico de conglomerado (considerando distancias Euclidianas de encadenamiento (Bratchell, 1989) para las rocas de la región de Galeana (Las Enramadas, La Huiche) y otros sitios con vulcanismo relacionado a los lechos rojos y evaporitas (Valle de Huizachal, Cañón La Boca, Aramberri y San Paulo Tranquitas).

*Grupo III: Valle de Huizachal (VES-A, VES-B, SS: subcalina-alkalina)- Aramberri.* En este arreglo sólo se incluyen los patrones multi-elementos y lantánidos para las muestras de Aramberri. Estos muestran comportamientos similares a las del *Grupo II*. Sin embargo, en el diagrama Zr/Ti-Nb/Y si marcan campos que difieren con el resto de los grupos (relación Zr/Ti > 0.02; Figura 3).

Por último, a las rocas bajo estudio se les aplicaron diagramas de discriminación tectónica de funciones multi-dimensionales considerando su composición como rocas básicas (Figura 7A) o ácidas (Figura 7B). Estos diagramas se basan en el logaritmo de relaciones de elementos mayores para cada grupo de rocas (Verma *et al.*, 2006, 2012). Estas herramientas revelaron dos tipos de afinidad tectónica para las litologías analizadas: (a) *Arco de Isla* para las rocas de La Huiche, Tiro 4, Las Enramadas, San Paulo Tranquitas y las muestras VES-D y SS-50 del Valle de Huizachal, y (b) *Rift Continental* para las VES-A, VES-B, SS (Valle de Huizachal), Cañón La Boca y Aramberri.



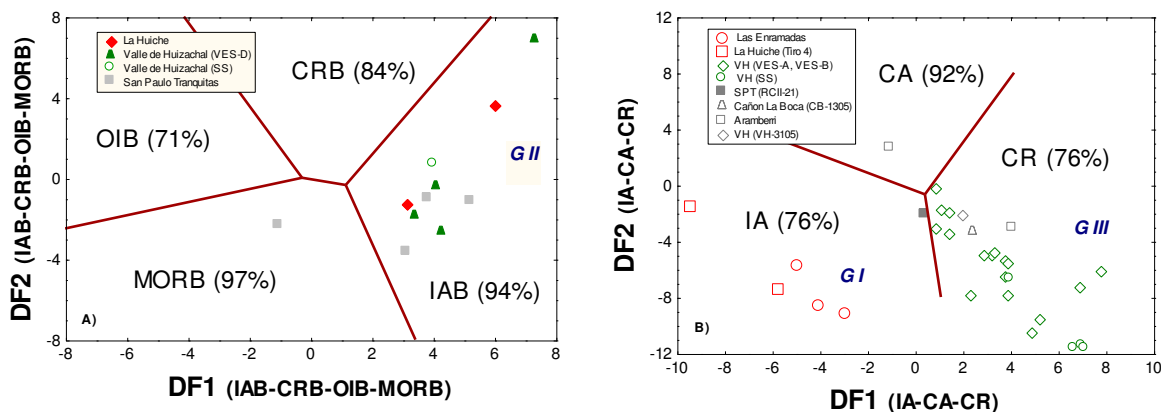
**Figura 5.** Diagramas multi-elementos normalizados a MORB para las rocas de la región de Galeana (Las Enramadas, La Huiche) y otros sitios con vulcanismo relacionado con los lechos rojos y evaporitas (Valle de Huizachal, Cañón La Boca, Aramberri y San Paulo Tranquitas). Valores de normalización (%peso para óxidos mayores y ppm para elementos traza) de Pearce (1982): Sr = 120, K<sub>2</sub>O = 0.15, Rb = 2, Ba = 20, Th = 0.20, Ta = 0.18, Nb = 3.5, Ce = 10, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 0.12, Zr = 90, Hf = 2.40, Sm = 3.3, TiO<sub>2</sub> = 1.5, Y = 30, Yb = 3.4, Cr = 250.



**Figura 6.** Diagramas de lantánidos normalizados a condrita para las rocas de la región de Galeana (Las Enramadas, La Huiche) y otros sitios con vulcanismo relacionado con los lechos rojos y evaporitas (Valle de Huizachal, Cañón La Boca, Aramberri y San Paulo Tranquitas). Valores de normalización (ppm) de Haskin *et al.* (1968) y Nakamura (1974): La = 0.329, Ce = 0.865, Pr = 0.112, Nd = 0.63, Sm = 0.203, Gd = 0.276, Tb = 0.047, Dy = 0.343, Ho = 0.07, Er = 0.225, Tm = 0.03, Yb = 0.22, Lu = 0.0339.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La actividad volcánica del NE de México entre el Triásico Superior y el Jurásico se ha explicado en términos de dos modelos fundamentales: (1) un sistema de *rift* (Salvador, 1987; Barboza-Gudiño *et al.*, 1998) y (2) un arco (Fastovsky *et al.*, 2005; Barboza-Gudiño *et al.*, 2008; García-Obregón, 2008; Rubio-Cisneros *et al.*, 2011), siendo este último el más aceptado. En el presente trabajo, se ha corroborado que las rocas estudiadas, con base en su geoquímica, se asocian a dos ambientes: (a) a una condición de *rift* continental se afilia el *Grupo III*, con un magmatismo que evoluciona de intermedio a ácido, relacionado con la Fm. La Boca (Valle de Huizachal, Cañon La Boca y Aramberri?) y (b) a una condición de arco de islas, representado por los *Grupos I y II* para algunas rocas del Valle de Huizachal (VES-D), La Huiche, Las Enramadas y San Paulo Tranquitas, relacionados a las formaciones La Boca y Minas Viejas.



**Figura 7.** Diagramas de discriminación tectónica de las funciones discriminantes multidimensionales, dependientes del logaritmo de relaciones de elementos mayores para: A) rocas básicas (Verma *et al.*, 2006): OIB-basaltos de arco de isla, CRB-basaltos de *rift* continental, IAB-basaltos de isla oceánica, MORB-basaltos de cordilleras oceánicas y B) rocas ácidas (Verma *et al.*, 2012): IA-arco de isla, CR-*rift* continental, CA-arco continental.

Los resultados obtenidos pueden sugerir que la asociación arco de isla-*rift* de los *Grupos II y III* se puede explicar relacionada con el desarrollo de una cuenca tras-arco vinculada a la subducción paleopacífica (Barboza-Gudiño *et al.*, 2008). La diferencia entre los componentes principales (% material volcánico) en las areniscas del Valle de Huizachal (mayor porcentaje) y San Paulo Tranquitas (menor porcentaje; Rubio-Cisneros *et al.*, 2011) puede explicarse como que éstas últimas se depositaron en el borde oriental de la cuenca de arco posterior, recibiendo por este motivo menos material vulcanoclástico de subducción en comparación con los primeros. Esta cuenca pudo ser fragmentada y desplazada en el Calloviano-Oxfordiano por un sistema de fallas laterales (e.g., la megashear Mojave-Sonora; Silver y Anderson, 1974). Sobre estas secuencias se depositaron las formaciones La Joya y Minas Viejas, relacionadas con una transgresión marina en una condición de margen continental pasivo del este de México. Los volcánicos ácidos relacionados a la Fm. Minas Viejas podrían corresponder a un evento de arco, posterior a la edad de dicha formación (post-Oxfordiano). Como se muestra en las Figuras 5A, 6A y 7B, estas rocas (*Grupo I*) tienen un comportamiento geoquímico que contrasta con el de los *Grupos II y III*.

En los lechos rojos de la Fm. La Boca es común encontrar vetas de barita. La relacionada con secuencias carbonatadas se observa en mantos, brechada y también en vetas. Se ha planteado que el  $\text{Ba}^{2+}$  (aportado por las areniscas) y  $\text{SO}_4^{2-}$  (aportado por las evaporitas de la Fm. Minas Viejas) fueron las principales fuentes para la formación de las baritas (Kesler *et al.*, 1998; Cruz-Gómez, *et al.*, 2006; Tritlla *et al.*, 2006; González-Sánchez, 2007). Por esta razón, es evidente que las relacionadas con los lechos rojos su depósito fuera posterior a la formación de las evaporitas.

De acuerdo al análisis del vulcanismo en este trabajo, es posible plantear su relación con la mineralización: (1) el asociado a una condición de cuenca tras-arco (*Grupos II y III*) aportó material vulcanoclástico (rico en feldespato) en la composición de las areniscas (con 1454 ppm de Ba; Kesler *et al.*, 1998) y, (2) el de arco,



representado por el *Grupo I*, aportó la temperatura necesaria para iniciar un sistema epitermal, en los alrededores de Galeana, aunque esta hipótesis requiere un análisis más detallado que se encuentra en desarrollo.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al programa PROMEP de la Secretaría de Educación Pública que financio este estudio a través del proyecto “Petrología de las rocas vinculadas con la deposición del Sulfato de Bario al Sur del estado de Nuevo León”, Clave: DSA/103.5/15/6797; UANL-PTC-841.

### **REFERENCIAS**

- Barboza-Gudiño, J.R., Tristán- González, M., Torres- Hernández, J.R. 1998. The Late Triassic- Early Jurassic active continental margin of western North America in northeastern México. *Geofísica Internacional*, 37, 283–292.
- Barboza-Gudiño, J.R., Orozco-Esquivel, M.T., Gómez-Anguiano, M., Zavala-Monsiváis, A. 2008. The Early Mesozoic volcanic arc of western North America in northeastern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences* 25, 49–63.
- Bratchell, N. 1989. Cluster analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 6, 105-125.
- Cruz-Gámez, E.M., Ramírez, J.A., Velasco, F., Rábago, R.O. 2006. Barita en el sur de Nuevo León: su distribución y perspectivas. *Ciencia UANL* 9, 283-289.
- Fastovsky, D.E., Hermes, O.D., Strater, N.H., Bowring, S.A., Clark, J.M., Montellano, M., Hernández, R.R., 2005, Pre-Late Jurassic fossil-bearing volcanic and sedimentary red beds of Huizachal Canyon, Tamaulipas, México, in Ardenison *et al.* (eds.), The Mojave-Sonora megashar hypothesis: development, assessment, and alternatives. *Geological Society of America Special Paper* 393, 401-426.
- García-Obregón, R. 2008. Cartografía geológica y petrología del vulcanismo mesozoico en el Valle de Huizachal, Tamaulipas, México: Linares, Nuevo León, UANL, Tesis de Licenciatura, 113 p.
- González-Sánchez, F., Puente Solís, R., González Partida, E., Camprubí, A. 2007. Estratigrafía del Noreste de México y su relación con los yacimientos estratoligados de fluorita, barita, celestina y Zn-Pb. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 59, 43-62.
- Haskin, L.A., Haskin, M.A., Frey, F.A., Wilderman, T.R. 1968. Relative and absolute terrestrial abundances of the rare-earths, en Ahrens, L.H. (ed.), Origin and distribution of the elements: Londres, Gran Bretaña, Pergamon Press, p. 889-912.
- Kesler, S.E., Jones, L.M., Ruiz, J. 1988. Strontium and Sulfur Isotope Geochemistry of the Galeana Barite District, Nuevo León, México. *Economic Geology* 83, 1907-1917.
- Kroeger, K.F., Stinnesbeck, W. 2003. The Minas Viejas Formation (Oxfordian) in the area of Galeana, northeastern Mexico: Significance of syndepositional volcanism and related barite genesis in the Sierra Madre Oriental, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede (eds.), The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics. *AAPG Memoir* 79, 515–528.
- Leach, D.L., Sangster, D.F. 1993. Mississippi Valley-type lead-zinc ore deposits, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M. (eds.), Mineral Deposit Models. *Geological Association of Canada, Special Paper* 40, 289-314.
- Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38, 757-775.
- Pearce, J.A. 1996. A users guide to basalt discrimination diagrams. *Geological Association of Canada Special Publication* 12, 79-113.
- Pearce, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries, in Andesites: Orogenic andesites and Related Rocks. Wiley Interscience, New York, pp. 525–548.
- Rubio-Cisneros, I.I., Ramírez Fernández, J.A., García-Obregón, R. 2011. Análisis preliminar de procedencia de rocas clásticas jurásicas del Valle de Huizachal, Sierra Madre Oriental: Influencia del vulcanismo sinsedimentario y el basamento cristalino. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 63, 137-156.
- Silver, L.T., Anderson, T.H. 1974. Possible left-lateral early to middle Mesozoic disruption of the southwestern North American craton margin: Abstract with Programs, Geology Society of Americ. 6, 955-956.

- Tritlla, J., Levresse, G., Corona-Esquivel, R., Banks, D., Lamadrid, H., Bourdet, J. 2006. Depósitos de Pb-Zn-Cu-Ba-F-Sr epigenéticos estratoligados en series sedimentarias en relación con salmueras de cuenca: depósitos de tipo “Mississippi Valley” (MVT) y similares en México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 58, 103-139.
- Verma, S.P., Guevara, M., Agrawal, S. 2006. Discriminating four tectonic settings: Five new geochemical diagrams for basic and ultrabasic volcanic rocks based on log-ratio transformation of major-element data. *Journal of Earth System Sciences* 115, 485–528.
- Verma, S.K., Pandarinath, K., Verma, S.P. 2011. Statistical evaluation of tectonomagmatic discrimination diagrams for granitic rocks and proposal of new discriminant-function-based multi-dimensional diagrams for acid rocks. *International Geology Review* 54, 325-347.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20, 325-343.